



*"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"*

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Cuantificación de la fijación biológica de  
nitrógeno por cuatro especies de leguminosas  
mediante el método de abundancia natural**

### **AUTORES**

**Br. Michael Douglas Gaitán Hernández  
Br. Héctor Iván Mairena Trejos**

### **ASESORES**

**MSc. Leonardo García Centeno  
MSc. Roberto C. Larios González**

**Managua, Nicaragua  
Noviembre 2017**



*"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"*

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMIA**

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Cuantificación de la fijación biológica de  
nitrógeno por cuatro especies de leguminosas  
mediante el método de abundancia natural**

### **AUTORES**

**Br. Michael Douglas Gaitán Hernández  
Br. Héctor Iván Mairena Trejos**

### **ASESORES**

**MSc. Leonardo García Centeno  
MSc. Roberto C. Larios González**

**Presentado a la consideración del honorable  
tribunal examinador como requisito final para  
optar al grado académico de ingeniero agrónomo**

**Managua, Nicaragua  
Noviembre 2017**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Sección	Página
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Localización del área de estudio	4
3.2 Descripción del experimento	5
3.3 Características de las especies leguminosas utilizadas	7
3.3.1 Canavalia ( <i>Canavalia ensiformis</i> L.)	7
3.3.2 Caupí ( <i>Vigna unguiculata</i> L.) Walp	7
3.3.3 Mungo ( <i>Vigna radiata</i> L.)	7
3.3.4 Frijol común ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	8
3.4 Características de las especies utilizadas como testigo	9
3.4.1 Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	9
3.4.2 Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) Moench	10
3.4.3 Brachiaria/Marandu ( <i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf)	10
3.5 Diseño experimental	10
3.6 Variables evaluadas	11
3.6.1 Número de nódulos totales y activos	11
3.6.2 Biomasa seca (g)	11
3.6.3 Porcentaje de nitrógeno total (%Nt)	11
3.6.4 Porcentaje isotópico de nitrógeno ( <sup>15</sup> N)	12
3.6.5 Porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda)	12

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Número de nódulos</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Biomasa seca (g)</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Porcentaje de nitrógeno total (%Nt)</b>	<b>17</b>
<b>4.3.1 Correlación entre número de nódulos y porcentaje de nitrógeno total</b>	<b>19</b>
<b>4.3.2 Correlación entre peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total</b>	<b>21</b>
<b>4.4 Porcentaje isotópico de nitrógeno (%<sup>15</sup>N)</b>	<b>23</b>
<b>4.5 Porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda)</b>	<b>26</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>30</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>31</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>	<b>32</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>35</b>

## **DEDICATORIA**

A DIOS todo poderoso creador y guía de mi vida.

A mis padres Eduardo Gaitán y Maritza Hernández por ser guías, brindarme su amor y apoyo en todo el camino de mi vida.

A mis abuelos Nora Campos, Héctor Gaitán (q.e.p.d), Humberto Hernández (q.e.p.d) y María Rivera (q.e.p.d), por sus consejos y apoyo.

A mis hermanos Jennifer, Eduardo y Estefany por su apoyo, consejos, tolerancia y amor.

A Luis Mario Merlo Baca (q.e.p.d), por ser fuente de inspiración y amor en mi vida.

A mi tía Sandra Hernández y primo Jorge Espinoza por su colaboración, respaldo y cariño en la realización de este trabajo de graduación.

A los Pájaros Bölös (Ronald, Samuel, José Joaquín, Luis, Ernesto y Carlos) por ser parte fundamental de mi formación académica y formar parte de un excelente grupo de amigos.

A los profesores Leonardo García, Martha Moraga, Martha Gutiérrez, Angélica Báez, Sergio Ramírez, Roberto Larios, Miguel Ríos, Oscar Gómez, Marylena Gutiérrez y Moisés Blanco por influir de manera directa en mi formación académica, sus valiosos consejos, sugerencias, aportes y amistad.

**Br. Michael Douglas Gaitán Hernández**

## **DEDICATORIA**

A mis Padres José Bayardo Mairena, a mi madre Marlene del Carmen Trejos López, a mis hermanos Verónica del Carmen Mairena, Erick René Mairena y José Bayardo Mairena por todo el amor, apoyo incondicional y tolerancia.

A Karla Patricia Zelaya por su apoyo incondicional, tolerancia, cariño y amor a lo largo de la investigación.

A los profesores Javier Velásquez, Rodolfo Munguía, Martha Moraga, Martha Gutiérrez, Hellen Ruth Ramírez, Angélica Báez, Sergio Ramírez y José Luís Delgado, por influir de manera directa en mi formación académica, sus valiosos consejos, sugerencias y aportes.

**Br. Héctor Iván Mairena Trejos**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios todo poderoso, creador del cielo y la tierra.

A nuestros padres por darnos la vida y el apoyo incondicional durante nuestra formación en la vida.

A nuestros abuelos y familiares, formadores de bien y consejeros permanentes.

A nuestro asesor el MSc. Leonardo García por su amistad, consejos, recomendaciones y paciencia.

A nuestro asesor el MSc. Roberto Larios por su amistad, recomendaciones y apoyo.

A Karla Patricia Zelaya por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación.

A La Universidad Nacional Agraria, en especial a la Facultad de Agronomía por brindarnos la oportunidad de tener una excelente formación académica.

A nuestros compañeros Ronald Rivera, Samuel Baca, José Adán Urbina, los grupos "Pájaros Bölös" "Vaquillas" y todos nuestros compañeros de clase en general.

A los Técnico de laboratorio María Elena Gutiérrez e Ing. Eder Samuel Gonzáles por su valioso apoyo en la fase de campo y trabajo de laboratorio.

A la UNA, Takashi, IAEA, IAPSTRUE, RAMAC, Fundación Coén, Fundación Amigos for Christ por el apoyo financieros y trabajo interinstitucional que hace posible generar conocimiento a través de los procesos de investigación, formación y extensión.

**Br. Michael Douglas Gaitán Hernández**

**Br. Héctor Iván Mairena Trejos**

<b>CUADRO</b>	<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>PÁGINA</b>
1.	Análisis químico de suelo	5
2.	Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en kg ha <sup>-1</sup> a partir del porcentaje de nitrógeno total presente en cada especie de leguminosa a los 30 y 90 días de la siembra	28



<b>FIGURA</b>	<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
1.	Ubicación geográfica del estudio	4
2.	Número de nódulos totales y activos presente en especies de leguminosas a los 30 días después de la siembra	13
3.	Número de nódulos totales y activo presente en especies leguminosas a los 90 días después de la siembra	14
4.	Peso de biomasa seca (g) de cada especie de leguminosa cosechada a los 30 días después de la siembra (30 dds)	15
5.	Peso de biomasa seca de especies de leguminosas cosechadas a los 90 días después de la siembra (90 dds)	16
6.	Porcentaje de nitrógeno total (%Nt) en cada especie de leguminosas a los 30 días después de la siembra (30 dds)	18
7.	Porcentaje de nitrógeno total (%Nt) en cada especie de leguminosas a los 90 s después de la siembra (90 dds)	19
8.	Tendencia entre nódulos activos y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 30 días después de la siembra	20
9.	Correlación de nódulos activos y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 90 días después de la siembra	21
10.	Tendencia de peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 30 días después de la siembra	22
11.	Correlación de peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 90 días después de la siembra	23
12.	Porcentaje isotópico de nitrógeno de cada especie leguminosa a los 30 días después de la siembra (30 dds)	24
13.	Porcentaje isotópico de nitrógeno de cada especie leguminosa a los 90 días después de la siembra (90 dds)	25
14.	Porcentaje de nitrógeno derivado del aire de cada especie leguminosa a los 30 días después de la siembra (30 dds)	26
15.	Porcentaje de nitrógeno derivado del aire de cada especie de leguminosas a los 90 días después de la siembra (90 dds)	27

ANEXO	ÍNDICE DE ANEXOS	PÁGINA
1.	Descripción los tratamientos y su clasificación en base a su momento de cosecha	37
2.	Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie mungo cosechada a los 30 días después de la siembra	37
3.	Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie mungo cosechada a los 30 días después de la siembra	37
4.	Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie caupí cosechada a los 30 días después de la siembra	38
5.	Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie caupí cosechada a los 30 días después de la siembra	38
6.	Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 30 días después de la siembra	38
7.	Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 30 días después de la siembra	39
8.	Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie frijol común cosechada a los 30 días después de la siembra	39
9.	Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie frijol común cosechada a los 30 días después de la siembra	39
10.	Peso (g) fresco y seco de biomasa (raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie de sorgo cosechado a los 60 días después de la siembra	39
11.	Peso (g) fresco y seco de biomasa (raíces y biomasa aérea) y de cada repetición en especie maíz cosechada a los 60 días después de la siembra	40

12.	Peso (g) fresco y seco de biomasa (raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie brachiaria cosechada a los 60 días después de la siembra	40
13.	Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie caupí cosechada a los 90 días después de la siembra	40
14.	Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie caupí cosechada a los 90 días después de la siembra	40
15.	Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 90 días después de la siembra	41
16.	Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 90 días después de la siembra	41

---

## RESUMEN

La fijación biológica del nitrógeno es de importancia en la agricultura sostenible, ya que permite reducir el uso de fertilizantes sintéticos. Este estudio se realizó de marzo 2016 a mayo 2017 en la Universidad Nacional Agraria. El objetivo fue cuantificar la fijación biológica de nitrógeno atmosférico por cuatro leguminosas en términos de  $\text{kg ha}^{-1}$ . Se utilizó un arreglo bifactorial completamente al azar con cuatro repeticiones. El factor A: Mungo (*Vigna radiata* L), frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), Caupí (*Vigna unguiculata* L), Canavalia (*Canavalia ensiformis* L), maíz (*Zea mays* L), Sorgo (*Sorghum bicolor* L) y Brachiaria (*Brachiaria brizantha*). El factor B: días a cosecha después de la siembra. Con un total de 44 tratamientos. Las variables evaluadas fueron, número de nódulos totales y activos, porcentaje de nitrógeno total, Porcentaje isotópico de nitrógeno ( $^{15}\text{N}$ ) y Porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda). El mungo presentó la mayor cantidad de nódulos que el resto de las especies a los 30 dds, no obstante a los 90 dds la especie canavalia presentó mayores cantidades de nódulos activos que la especie caupí. La variable porcentaje de nitrógeno total (%Nt) a los 30 dds fue caupí la que presentó más altos resultados, sin embargo a los 90 dds, canavalia presentó el mayor porcentaje de nitrógeno total. Frijol común obtuvo mayor porcentaje isotópica de nitrógeno (% $^{15}\text{N}$ ) a los 30 dds, pero a los 90 dds canavalia obtuvo el mejor resultado. La ultima variable es porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda) a los 30 dds y la especie canavalia fue la mejor seguida de mungo y caupí, frijol común obtuvo el peor resultado; 90 dds caupí reflejo el mejor resultado. Los resultados nos demuestran que todas las leguminosas pueden ser usadas como abono verde a excepción del frijol común, no obstante la eficiencia de su uso dependerá del momento de corte.

**Palabras clave:** fijación biológica, nitrógeno, abono verde, fertilización, uso eficiente del nitrógeno.

## ABSTRACT

The biological fixation of nitrogen is of importance in sustainable agriculture, since it allows to reduce the use of synthetic fertilizers. The study was conducted from March 2016 to May 2017 at the Universidad Nacional Agraria. The object was to quantify the biological fixation of atmospheric nitrogen by four legumes in terms of kg ha<sup>-1</sup>. A completely random bifactorial arrangement with four replicates was used. The species A: Mungo (*Vigna radiata* L), Common bean (*Phaseolus vulgaris* L), Caupí (*Vigna unguiculata* L), Canavalia (*Canavalia ensiformis* L), Maize (*Zea mays* L), Sorghum (*Sorghum bicolor* L) and *Brachiaria brizantha*). Factor B: days to harvest after sowing. With a total of 44 treatments. The variables evaluated were: number of total and active nodules, percentage of total nitrogen, nitrogen isotope percentage (15N) and percentage of nitrogen derived from air (% N<sub>dda</sub>). The mungo presented the largest number of nodules that the rest of the species to the 30 dds, nevertheless to the 90 dds the species canavalia presented larger amounts of active nodules than the cowpea species. The variable percentage of total nitrogen (% N<sub>t</sub>) at 30 dds was cowpea which presented the highest results, however at 90 dds, canavalia presented the highest percentage of total nitrogen. Common bean obtained higher nitrogen isotope percentage (% 15N) at 30 dds, but at 90 dds canavalia obtained the best result. The last variable is the percentage of nitrogen derived from air (% N<sub>dda</sub>) at 30 dds and the canavalia species was the best followed by mung and cowpea, common bean obtained the worst result; 90 dds cowpea reflected the best result. The results show that all legumes can be used as green manure with the exception of common bean, however the efficiency of their use will depend on the cutting time.

**Key words:** Biological fixation, nitrogen, green manure, fertilization, efficient use of nitrogen.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de abonos verde es de importancia en países en desarrollo, debido a altos costos económicos, lo que se traduce en una limitada disponibilidad de fertilizantes nitrogenados, ya que, estos son utilizados para aportar nutrientes al suelo y de esta manera suplir la demanda de los cultivos (Hardason y Danso, 1990).

La familia de las leguminosas son las plantas más utilizadas como abono verde a nivel mundial, debido a su capacidad de asociarse simbióticamente con bacterias del género *Rhizobium*. Según Salmerón y García (1994); estos microorganismos viven en colonias (nódulos), en las raíces de las leguminosas, donde, la planta huésped aporta el sustrato energético, consistente principalmente en sacarosa y se beneficia del nitrógeno orgánico reducido por microorganismos; que poseen la enzima nitrogenasa, que es la encargada de desdoblar el nitrógeno atmosférico.

Para la ordenación adecuada y el pleno aprovechamiento de los beneficios de esta asociación fito-microbiana, es preciso calcular la cantidad de nitrógeno que se fija. Tras solo conocer estos detalles se podrán alterar diversos factores a fin de aumentar la cantidad y proporción de nitrógeno que la planta obtiene de la fijación biológica. Por tanto constituye un requisito importante en todo programa encaminado a elevar al máximo la fijación biológica del nitrógeno disponer de un método adecuado para medir con precisión la cantidad de nitrógeno que las leguminosas pueden fijar (Hardason y Danso, 1990).

El nitrógeno juega un rol clave en la etapa de crecimiento vegetativo, floración y formación de los frutos y semillas. Durante la fase vegetativa la actividad central consiste en la formación de más tejidos, lo que a su vez implica síntesis de proteínas y de carbohidratos, ambos progresan gradualmente hasta el final de la etapa vegetativa. Una nutrición nitrogenada deficiente, durante esta etapa, acorta la vida de la planta, causa madurez precoz y baja sensible de los rendimientos económicos (Salmerón y García, 1994).

La mayoría de las leguminosas utilizadas como abono verde son capaces de fijar nitrógeno, debido a su relación simbiótica con bacterias del genero *Rhizobium*. Binder (1999), indica que

en Nicaragua existen 111 especies de leguminosas, pero las más utilizadas por su rápido crecimiento y alta producción de nitrógeno son: el caupí, mungo, canavalia y el frijol común entre otras, logrando aportar entre 75 y 400 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno al suelo. Mendieta (1999), citado por García (2006), reporta producciones de materia seca de 9.97, 10.4 y 13.8 t ha<sup>-1</sup> para mungo y caupí respectivamente, con fijaciones de nitrógeno de 259, 218 y 497 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Uno de los desafíos para lograr una agricultura sostenible reside en reducir la utilización de agroquímicos, sin afectar negativamente los rendimientos y la calidad de la producción agrícola. En relación con la nutrición nitrogenada, varias son las alternativas que existen para disminuir o reemplazar el uso de fertilizantes, una de las prácticas que mayor interés ha tenido en la última década es la cobertura viva con leguminosas como abono verde.

Una de las formas de cuantificar la fijación biológica de nitrógeno (FBN) es mediante el método de abundancia natural (AN) de <sup>15</sup>N (isotopo estable de nitrógeno con una abundancia natural en la naturaleza del 0.366%). Esta técnica es de gran importancia en la agricultura, ya que, permite determinar si la cantidad de nitrógeno fijado es suficiente para satisfacer la demanda de cultivos de importancia económica. Según Córdoba (2011); Estudios relacionados con la fijación biológica de nitrógeno ha demostrado que en México, la utilización de leguminosa, cuya tasa de fijación de nitrógeno son altas (hasta 260 kg ha<sup>-1</sup> de N), puede satisfacer los requerimientos de nitrógeno del cultivo de maíz (90 kg N ha<sup>-1</sup>).

En Nicaragua no existen estudios que demuestren cuanto es la cantidad específica de producción de Nitrógeno fijado por estas cuatro leguminosas. Se realizó este trabajo de investigación, que generó información sobre la importancia que presentan las *leguminosas* usadas como abonos verdes y sobre todo la cantidad de nitrógeno que son capaces de fijar estas especies; el estudio se realizó mediante la técnica de abundancia natural isotópica de <sup>15</sup>N.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Cuantificar la fijación biológica del nitrógeno en cuatro especies de leguminosas mediante la técnica de abundancia natural.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar el porcentaje de nitrógeno total (%Nt) presente en las leguminosas cosechadas a los 30 y 90 días después de la siembra.

Estimar el porcentaje isotópico de nitrógeno (%  $^{15}\text{N}$ ) existente en las leguminosas cosechadas a los 30 y 90 días después de la siembra.

Calcular el porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda) existente en las leguminosas cosechadas a los 30 y 90 días después de la siembra.

Calcular la cantidad de nitrógeno en  $\text{kg ha}^{-1}$  que aportan las leguminosas cosechadas a los 30 y 90 días después de la siembra usadas como abono verde.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en áreas del antiguo REGEN de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en el municipio de Managua, departamento Managua, Nicaragua, sitio ubicado en el km 12 ½ carretera norte entre las coordenadas geográficas de 12° 08' 36" latitud Norte y 86° 09' 49" longitud Oeste durante el período marzo 2016 a septiembre 2017.



**Figura 1.** Ubicación geográfica del estudio

Fuente: Google Earth (2016); <http://www.google.com.ni>

La zona está clasificada como bosque tropical seco y cálido, presentando temperaturas medias anuales de 27.7 °C, con precipitaciones 2 370 mm por año, una elevación de 56 msnm y una humedad relativa promedio de 71 % anuales (INETER, 2009).

El tipo de suelo utilizado en el ensayo experimental, es el predominante en la zona; presentando las siguientes características: textura franco arcillo arenoso, profundidad mayor a los 80 cm, bien drenados y con pH ligeramente básico (Acuña y Lara, 2001).

Se realizó un análisis de suelo antes de establecer el ensayo con el propósito de conocer el referente del contenido de nutrientes y disminuir los riegos de afectación de fijación de nitrógeno por deficiencia de otros elementos nutricionales.

**Cuadro1.** Análisis químico de suelo

	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
		%		Ppm	Meq / 100 g suelo			ppm			
	7.6	2.95	0.147	19.6	2.84	20.51	7.97	15.1	0.8	66.2	2.4
Clasificación	A	M	M	A	A	A	A	O	M	A	M

**Fuente:** Laboratorio de suelos y agua (LABSA), Universidad nacional agraria (UNA), 2016.

A: alto      O: óptimo      M: moderado

De acuerdo al análisis de suelo, fue necesario la aplicación de 2.5 g de sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) en cada macetera, para lograr una relación de balance entre en magnesio - potasio y evitar de esta manera el efecto de antagonismo que sucede entre ellos.

### 3.2 Descripción del experimento

El experimento se llevó a cabo a nivel de invernadero ( $69 \text{ m}^2$  de área, sin control de temperatura y humedad relativa), en el cual, se ocupó un espacio de terreno de  $3.5 \text{ m}^2$ , donde se distribuyeron 44 maceteras (tratamientos) con 6 kg de suelo/macetera.

Sé estableció un experimento bifactorial completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones. El factor A corresponde a cuatro especies leguminosas y tres testigos: mungo, frijol común, caupí, canavalia, maíz, sorgo y brachiaria. El factor B corresponde a días de cosecha después de la siembra: 30, 60 y 90 días después de la siembra. La combinación de los factores fueron 44 tratamientos.

El suelo fue obtenido a una profundidad de 25 cm desde la superficie, la preparación consistió en tamizar el suelo con una maya de 2 mm de diámetro, luego se llenaron 44 maceteras con 5.5 kg y se realizó la fertilización con aplicaciones de 2.5g/macetera, de sulfato de magnesio para todas las especies, esta aplicación fue una enmienda, debido a los niveles muy bajos que de Mg, que presentó el suelo y para evitar el antagonismo entre las bases intercambiables (Ca, Mg y K) presente en suelos del ex REGEN (según el análisis de suelo realizados en LABSA-UNA, 2016).

Posterior a la fertilización se realizó la siembra de todos los tratamientos (mungo, frijol común, canavalia, caupí, sorgo, maíz y brachiaria), manteniendo la humedad del suelo a 75% de la capacidad de campo durante todo el período del experimento.

El manejo de arvenses fue de forma manual, realizando controles periódicos una vez por semana. El manejo fitosanitario se realizó de manera preventiva con una aplicación foliar de VERTIMEQ–1.8EC (Abamectina) y la dosis utilizada fue (25cc/l de agua). RAMAC, (2013); menciona que vertimeq es un acaricida-insecticida de amplio espectro que actúa por contacto e ingestión sobre las plagas, bloquea la transmisión del impulso nervioso, además posee un excelente efecto translaminar, siendo su acción sistémica bastante limitada y su dosis recomendada es de 25-50 cc por litro de agua.

Se realizaron tres cortes (30, 60 y 90 dds) para conocer el aporte de nitrógeno en kg ha<sup>-1</sup> que proporcionan las especies leguminosa, para evaluar su utilidad como abono verde en asociados con otros cultivos de importancia económica que demandan gran cantidad de nitrógeno en los primeros 60 días de su crecimiento (maíz, sorgo, entre otros).

El primer corte se realizó a los 30 días después de siembra; mungo y frijol común debido a que son especies de ciclo corto, caupí y canavalia se pretendió evaluar su aporte de nitrógeno a los 30 días debido a que son especies de ciclo largo, maíz y brachiaria con el objetivo de conocer el valor delta <sup>15</sup>N.

El segundo corte se realizó a los 60 días después de la siembra solo para las especies testigo.

El tercer corte fue a los 90 días después de la siembra para las especies caupí y canavalia con el propósito de conocer su aporte de nitrógeno en su etapa máxima de crecimiento y así comparar su aporte de nitrógeno en diferentes momentos.

### **3.3 Características de las especies leguminosas utilizadas**

#### **3.3.1 Canavalia (*Canavalia ensiformis* L.)**

Es una leguminosa herbácea erecta a enredadera, anual a perenne. Ciclo de cultivo de 170 – 240 días, germinación rápida; altura de 60 – 100 cm, con raíces pivotantes. Los tallos son pocos ramificados, glabros y de color púrpura. Flores de color blanco a rosado, florece a los 74 –79 días, y de ahí en adelante sigue produciendo flores da vainas continuamente, vainas con 30 cm de largo y 3.5 cm de ancho, aplastadas ensiformes e indehisciente, de 12-20 semillas por vaina de forma oblongas o redondas, algo aplastadas, lisas y de color blanco. Esta es muy usada como abono verde por suministrar grandes cantidades de materia orgánica, mejorando la capacidad de retención de agua, contenido de nutrientes, textura, suavidad y profundidad de la capa superior del suelo (Binder, 1997).

La canavalia es muy usada como abono verde por suministrar grandes cantidades de materia orgánica; entre 13 – 14 t ha<sup>-1</sup>, mejorando la capacidad de retención de agua, contenido de nutrientes, textura, suavidad, profundidad de la capa superior del suelo y pudiendo fijar hasta 500 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (López y Vega, 2004).

#### **3.3.2 Caupí (*Vigna unguiculata* L.) Walp**

López y Vega (2004), indican; que el caupí es una planta anual, trepadora o rastrera, con un ciclo vegetativo que oscila entre 3-6 meses. Es una especie que puede verse influenciada en su velocidad de descomposición cuando es incorporada al suelo por las temperaturas y las precipitaciones, se descompone rápidamente en un período de cuatro semanas y presenta valores altos de nitrógeno en la materia seca. Mendieta (1999) reporta producción de biomasa seca de 13.8 t ha<sup>-1</sup> y una fijación de 497 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

#### **3.3.3 Mungo (*Vigna radiata* L.)**

López y Vega (2004), mencionan; que se conoce con el nombre de frijol chino, se caracteriza por tener buena tolerancia a la sequía, moderada inundación, buena a la sombra, contribución a

la fertilidad del suelo de alto ha moderado. Ciclo vegetativo es de 50-90 días, su descomposición al incorporarla al suelo dura aproximadamente siete semanas presentando valores bajos de nitrógeno en la materia seca (8-9 t ha<sup>-1</sup>). Por otra parte Mendieta (1999) reporta una producción de 10.4 t ha<sup>-1</sup> de materia seca con una fijación de 218 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

El Mungo ha sido utilizado en sistemas de cultivo intercalado maíz-mungo, rotación de cultivos, asocio con pitahaya, entre otros. No tiene restricciones en su uso, ha sido utilizado para consumo humano, cocido y licuado con crema y en forma de vainas tiernas. También se puede suministrar al ganado como forraje verde o seco y los granos para alimentar cerdos, gallinas y otras aves de corral. No tiene restricciones en su consumo es un buen abono verde.

### **3.3.4 Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L)**

Una de las más importantes debido a su distribución en los cinco continentes, por ser complemento nutricional indispensable en la dieta alimenticia. El frijol ha sido un elemento tradicionalmente importante en América latina y en general en una gran cantidad de países en vías de desarrollo en los cuales se cultiva.

En Nicaragua el frijol común es después del maíz, el principal alimento básico y constituye la fuente de proteínas más importantes y barata en la dieta humana. El consumo per cápita en Nicaragua es de 26.1 kg por año y es el más alto de Centroamérica, pero varía mucho año con año, dependiendo de la producción, las importaciones, exportaciones, precio y existencias (IICA, 2009).

En Nicaragua se siembran alrededor de 350 mil manzanas por año, con una producción de cuatro millones de quintales, producida en un 95% por pequeños y medianos productores que utilizan baja tecnología y carecen de apoyo financiero para el cultivo del frijol, por lo que es muy vulnerable, pues la generación de tecnologías eficientes para el manejo del cultivo son de poco interés para las compañías involucradas, y los costos de estas no pueden ser pagadas por el cultivo, que en su mayoría es de producción artesanal (IICA, 2009).

### 3.4 Características de las especies utilizadas como testigos

Las especies gramíneas son utilizadas como testigo por su característica extractora y no fijadora de nitrógeno; el principal propósito de esta característica es reflejar la abundancia de  $^{15}\text{N}$  del nitrógeno disponible para las plantas, aportando una precisión de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) por la técnica de abundancia natural (AN) de  $^{15}\text{N}$ .

La técnica de abundancia natural (AN) consiste en estimar la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en especies de leguminosas, a través de la fertilidad del suelo y valor delta de  $^{15}\text{N}$ .

#### 3.4.1 Maíz (*Zea mays* L.)

Es un cultivo muy remoto de unos 7000 años de antigüedad, que se cultivaba por las zonas de México y América central. Hoy día su cultivo está muy difundido por todo el resto de países y en especial en toda Europa donde ocupa una posición muy elevada. Su origen se considera que pertenece a un cultivo de la zona de México, pues sus hallazgos más antiguos se encontraron allí (INFOAGRO, 2015).

Variedad NB-6: Fue desarrollada por el Programa Nacional de Investigación de maíz, adscrito al Centro Nacional de Investigación de Granos Básicos (CNIGB) en 1984. La variedad NB-6 proviene de la población Santa Rosa 8073 (Tropical blanco tardío dentado), cuyo germoplasma fue introducido por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y germoplasma local en convenios de colaboración con Nicaragua (INTA, 2010); citado por FUNICA (Sf).

Adaptabilidad NB-6 se puede sembrar desde los 200 a 1,000 m de altura, se adapta a suelos francos, franco arenoso y areno arcilloso, con pendientes de 15 hasta más de 30 %, pH de 6.5 a 7.0, temperaturas 22 a 29° C y precipitaciones de los 1,200 a 1,800 mm (INTA, 2010); citado por FUNICA (Sf).

### **3.4.2 Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) Moench**

El Sorgo es de la familia de las gramíneas y es originario del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India, se introdujo en América en el siglo XVIII; Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América. La planta de sorgo tiene una altura de 1 a 2 metros. Tiene inflorescencias en panojas y semillas de 3 mm, esféricas y oblongas, de color blanco, negro, rojizo y amarillento. Tiene un sistema radicular que puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad (MEFCCA, 2015).

Pioneer 85p20: Según (INTA, 2013) Es un cultivar híbrido, tiene su origen en México, de uso forrajero y con semillas de color rojo, registrado en Nicaragua en el año 2013 por Duwest Nicaragua S.A.

### **3.4.3 Brachiaria/Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf)**

Es una especie forrajera perenne, de hojas erectas, largas y altamente palatables, próspera en zonas con registros pluviométricos superiores a los 750 mm anuales. Se adapta a distintos tipos de suelo, tanto de textura arenosa como pesada, con alta capacidad de retención de humedad y a suelos con pH ácido. Este cultivar no tolera anegamientos (Roig, 2004).

## **3.5 Diseño experimental**

Se utilizó un arreglo bifactorial con 4 repeticiones en diseño completamente al azar (DCA), donde cada tratamiento (macetera) constaba de cuatro plantas.

Se obtuvieron datos a partir de la cantidad de nódulos y peso de biomasa. Además se obtuvieron datos promedios de porcentaje de nitrógeno total, porcentaje isotópico de nitrógeno y nitrógeno derivado del aire a partir de resultados obtenidos de análisis molecular a los tratamientos mediante la técnica de espectrometría en masa.

La técnica de espectrometría de masa permite determinar la distribución de las moléculas de nitrógeno en función de su masa. También es un dispositivo que permite analizar con gran precisión elementos químicos e isotópicos atómicos como el  $^{15}\text{N}$ .

### **3.6 Variables evaluadas**

#### **3.6.1 Número de nódulos totales y activos**

A los 30 días después de la siembra (dds) se contabilizó el número de nódulos en todas las especies evaluadas. Noventa días después de la siembra, se contabilizó el número de nódulos para las especies caupí y canavalia. Los nódulos que presentaron coloraciones rosadas o rojizas se clasificaron como nódulos activos y funcionales en la fijación biológica de nitrógeno, con el objetivo de determinar su relación con el porcentaje de nitrógeno fijado.

#### **3.6.2 Biomasa seca (g)**

A los 30 dds se registró el peso fresco y seco de las leguminosas. A los 60 dds le correspondió a las gramíneas y por último a los 90 dds se registró también para canavalia y caupí. Este peso fue expresado en gramos, con la intención de correlacionar la cantidad de nitrógeno que aportan las leguminosas según la producción de biomasa.

El peso seco se obtuvo sometiendo las muestras a un proceso de secado por 72 horas en un horno a una temperatura de 75 °C, posteriormente se registró el peso de cada muestra con el uso de una balanza digital.

#### **3.6.3 Porcentaje de nitrógeno total (%Nt)**

Una vez obtenida la biomasa seca, proveniente de cada parte de las plantas (raíces, nódulos y biomasa aérea), se sometieron a un proceso de molienda y posteriormente fueron empacadas en bolsa ziploc, y codificadas según especie y fecha de corte para su envío al laboratorio molecular de la Universidad de Florida (Estados Unidos).



Para obtener el porcentaje de nitrógeno total, a cada muestra se le realizó un análisis molecular mediante la técnica de espectrometría de masas. Una vez obtenido los resultados del análisis molecular, solo para las especies leguminosas se promedió el porcentaje de nitrógeno total (datos de raíces, nódulos y biomasa aérea) en cada especie acorde a la fecha de corte (30, 60 y 90 dds).

#### **3.6.4 Porcentaje isotópico de nitrógeno ( $^{15}\text{N}$ )**

Los datos de porcentaje isotópico de nitrógeno se obtuvieron mediante la misma técnica de espectrometría de masa. Una vez obtenido los resultados del análisis molecular, solo para las especies leguminosas se promedió el porcentaje isotópico de nitrógeno (datos de raíces, nódulos y biomasa aérea) en cada especie evaluada de acuerdo al momento de corte (30, 60 y 90 dds).

#### **3.6.5 Porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%N<sub>dda</sub>)**

El porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%N<sub>dda</sub>) se obtuvo a partir de los promedios de  $^{15}\text{N}$  de las especies leguminosas y la especie testigo de sorgo; a través de la fórmula:

$$\%N_{dda} = 1 - (\% \text{ át. } ^{15}\text{N} \text{ sp leguminosa} / \% \text{ át. } ^{15}\text{N} \text{ sp testigo}) \times 100$$

Cabe destacar que solo se utilizó el dato isotópico  $^{15}\text{N}$  de sorgo como especie testigo, debido a que las muestras de maíz y brachiaria presentaron valores isotópicos negativos, debido a contaminación de las muestras al momento del análisis molecular.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Número de nódulos

La formación de nódulos en las raíces de las leguminosas, constituye una de las etapas de fundamental importancia en el proceso para la fijación biológica de nitrógeno. En este proceso se da la intervención de la enzima nitrogenasa, la cual es fabricada por las bacterias asociadas a las raíces; la cual se encarga de catalizar la reacción química donde se da la transformación de nitrógeno atmosférico en amoníaco (Paredes, 2013).

El frijol mungo; es una especie que presenta un rápido crecimiento entre los 30-35 después de la siembra (López y Vega, 2004). Basado en la información de Paredes (2013), López y Vega (2004), la cantidad de nódulos activos en mungo será mayor respecto a especies de igual o mayor crecimiento. Estos datos concuerdan con los resultados reportados en esta investigación; donde la especie mungo presentó mayor número de nódulos que las otras especies leguminosas evaluadas. La figura 2 indica el número de nódulos por especie.

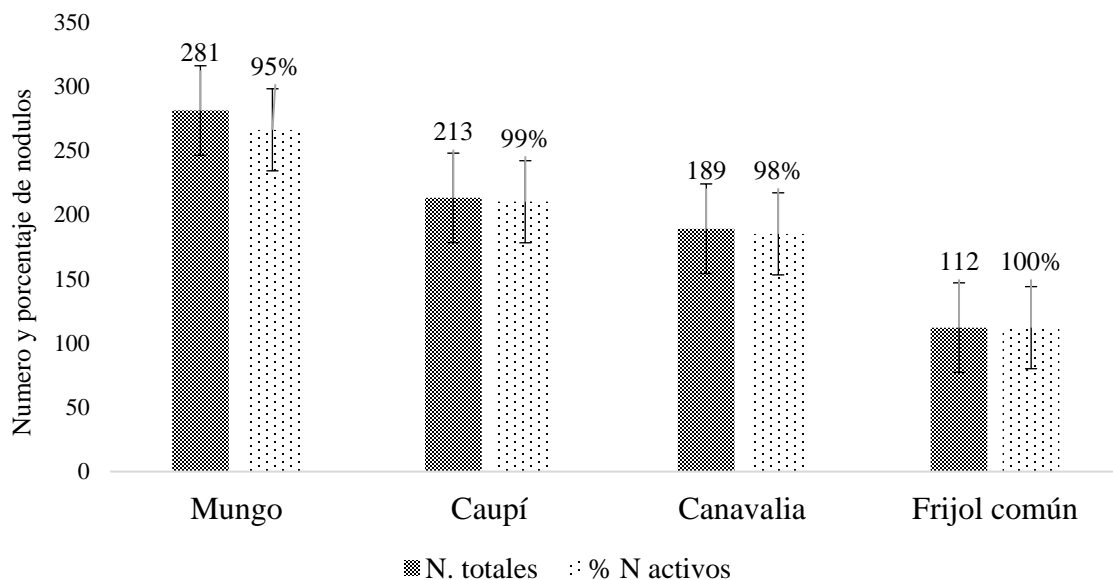


Figura 2. Número de nódulos totales y activos presente en especies de leguminosas a los 30 días después de la siembra.

A los 30 días después de la siembra (dds), la especie con mayor número de nódulos totales fue mungo con 281 nódulos, los cuales presentaron 95% de nódulos activos. Aunque el frijol común presentó 100% de nódulos activos, registró el menor número de nódulos totales con 112; mientras que caupí y canavalia presentaron cantidades intermedias (213 y 189) respecto a las otras especies.

Al dejar establecidas por más tiempo (60 días) las especies de canavalia y caupí, se obtiene un aumento de 438 – 511% en cantidades de nódulos. A los 90 días después de la siembra (dds), en la figura 3 se muestra que la especie con mayor número de nódulos fue canavalia con 1265, de los cuales el 98% de nódulos estaban activos, mientras que Caupí presentó un menor número de nódulos 1089; de estos el 98% estaban activos. La figura 3 describe los resultados de cantidad de nódulos de cada especie evaluada a los 90 dds.

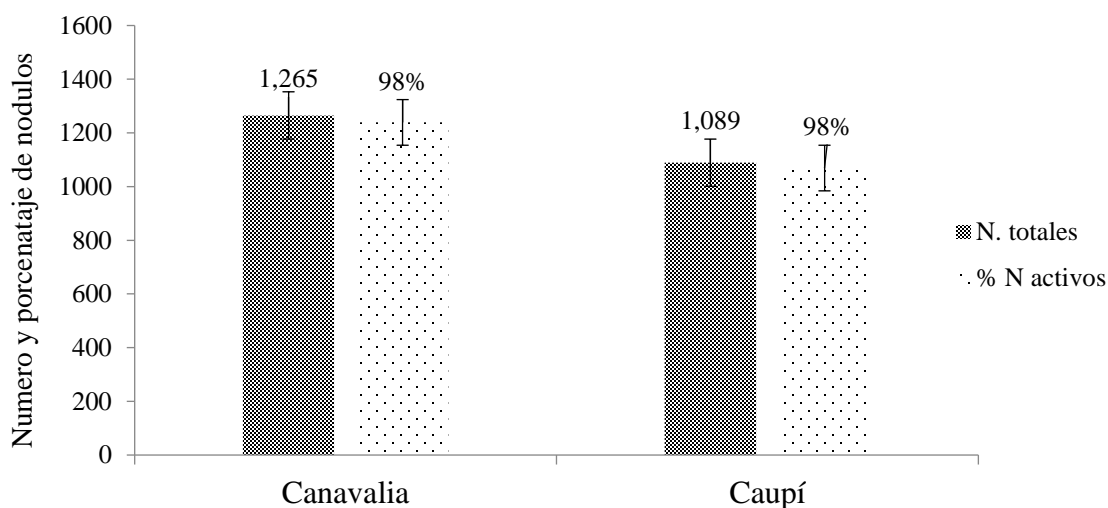


Figura 3. Número de nódulos totales y activo presente en especies leguminosas a los 90 días después de la siembra.

La formación de nódulos está determinada por una diversidad de factores tanto bióticos como abióticos, a medida que la planta se desarrolla la cantidad de nódulos activos irá en aumento mientras la planta se encuentre en etapa vegetativa (Paredes, 2013).

La cantidad de nódulos en una especie varía según su condición morfológica y fisiológica; en especies de mayor biomasa tanto aérea como radicular la cantidad de nódulos será mayor, en otros casos según el tiempo en que la etapa vegetativa se prolongue, la formación de nódulos

será más lenta, por ende la cantidad de nódulos tanto activos como inactivos será menor en los primeros días después de la siembra (Paredes, 2013).

Paredes (2013), menciona que la inactividad de los nódulos (muerte y/o senescencia) comienza a partir de la etapa de pre-floración, cuando la planta comienza a concentrar sus nutrientes en la formación de yemas o botones florales, la actividad microbiana se reduce drásticamente y los nódulos comienzan a perder su actividad hasta morir. Por lo cual se sustenta el resultado que la especie mungo presenta el menor porcentaje de nódulos activos (95%) en relación a su número total de nódulos, debido a que en ese momento (30 dds) está a punto de pasar de la etapa vegetativa a la etapa de floración.

#### 4.2 Biomasa seca (g)

Guarachi *et al.*, (2006) expresa; que la producción de biomasa seca es una de las características más relevante en especies leguminosas debido al valor nutritivo y al contenido de nitrógeno que aportan al suelo. A partir de la producción de biomasa seca se realizaron los cálculos de  $\text{kg ha}^{-1}$  que es capaz de aportar cada especie leguminosa.

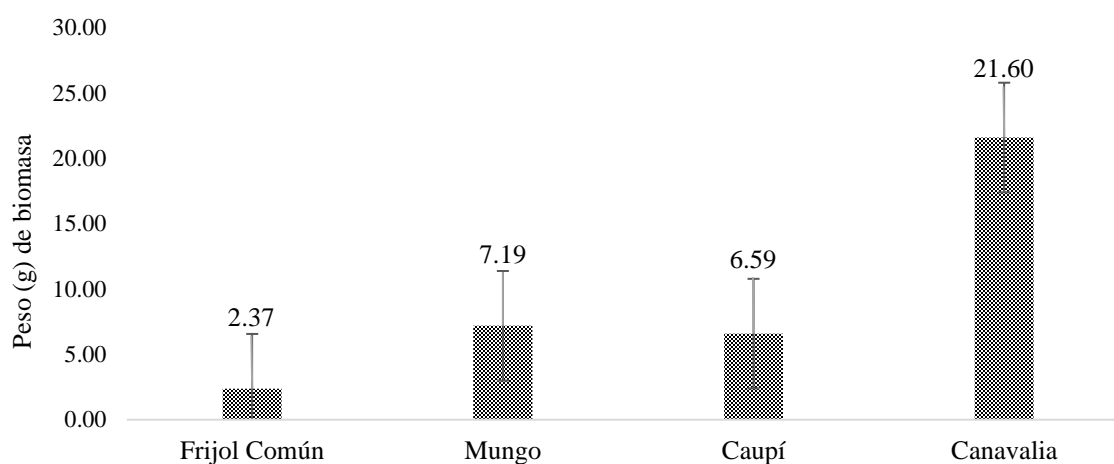


Figura 4. Peso de biomasa seca (g) de cada especie de leguminosa cosechada a los 30 días después de la siembra (30 dds).

A los 30 días después de la siembra (dds), la especie con mayor peso (21.6 g) de biomasa seca fue canavalia y la de menor peso (2.37 g) fue frijol común, las especies caupí (6.59 g) y mungo

(7.19 g) presentaron pesos intermedios respecto a las demás especies. La figura 4 muestra los pesos de la biomasa.

A los 90 días después de la siembra (dds) la especie canavalia nuevamente obtuvo un mayor peso (g) respecto a caupí. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con lo antes descrito por López y Vega (2004) con los resultados presentados por Mendieta (1999), donde la especie canavalia presentó una mayor producción de biomasa debido a las características morfológicas de mayor crecimiento y desarrollo en longitud, diámetro y número de hojas respecto al caupí. La figura 5 nos muestra los resultados de los pesos de biomasa a los 90 dds.

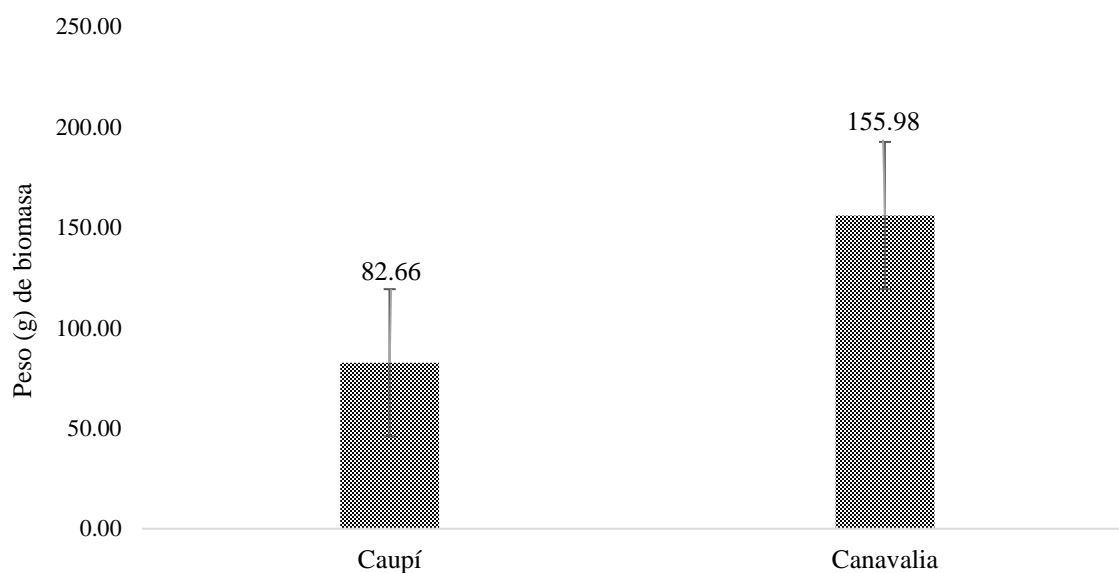


Figura 5. Peso de biomasa seca de especies de leguminosas cosechadas a los 90 días después de la siembra (90 dds).

La producción de biomasa de una planta está relacionada con las características morfológicas y fisiológicas de cada especie, siendo las especies de mayor crecimiento las que habitualmente obtienen una mayor producción de biomasa. La especie canavalia debido a alta producción de biomasa durante su etapa vegetativa, sus características morfológicas en cuanto longitud, número de hojas y grosor, tendrá siempre un mayor peso respecto a las otras especies evaluadas, a pesar que el mungo y frijol común se encuentran en su máximo desarrollo vegetativo a los 30 días después de la siembra (Mendieta, 1999).

López y Vega (2004), afirman que el cultivo de canavalia para abono verde produce 14 toneladas de materia seca por hectárea. Mendieta (1999) presenta datos de materia seca en dos leguminosas utilizadas como abono verde: 10.4 toneladas  $\text{ha}^{-1}$  en mungo y 13.8 toneladas  $\text{ha}^{-1}$  en caupí.

Sin embargo, la producción de biomasa no está directamente relacionada con el porcentaje de fijación, si no, que depende de la etapa vegetativa en que se encuentre la planta previa a la etapa de floración (Paredes, 2013). Una especie que produce mayor cantidad de biomasa seca respecto a otra; puede proporcionar mayor cantidad de nitrógeno ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), a medida que ambas especies se van desarrollando y se acercan a la etapa de floración el aporte de nitrógeno irá en decadencia y la especie con mayor producción de biomasa puede obtener valores más bajos de nitrógeno, aportando menor cantidad ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) que la otra, debido al efecto de dilución que demuestra la reducción del porcentaje de nitrógeno a medida aumenta con el desarrollo de la especie (Mengel y Kirkby, 2000).

#### **4.3 Porcentaje de nitrógeno total (%Nt)**

El porcentaje de nitrógeno total tiene mucha importancia, a partir de este indicador se puede determinar la cantidad de  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrógeno que aporta cada especie de leguminosa. Mediante este indicador los agricultores pueden tomar decisiones en cuanto a la especie a utilizar como abono verde según la demanda del cultivo de importancia económica a establecer en sus parcelas.

La fijación biológica del nitrógeno se lleva a cabo en las raíces de la planta donde se encuentran las células del nódulo. El primer producto estable que se obtiene de la fijación de nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) es el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La asimilación del amoníaco para formar compuestos de nitrógeno orgánico en los nódulos radicales lo lleva principalmente la planta (Mengel y Kirkby, 2013).

Paredes (2013) expresa que la fijación biológica del nitrógeno atmosférico consistente en la reducción de  $\text{N}_2$  a  $\text{NH}_4$  por la enzima nitrogenasa. En el caso particular de *Rhizobium*, está

demostrado que el efecto beneficioso de la asociación es debido mayoritariamente a la capacidad que posee la bacteria de producir fitohormonas que determinan un mayor desarrollo del sistema radical y, por tanto la posibilidad de explorar un volumen más amplio del suelo.

Cuando se cosechó a los 30 días después de la siembra (dds) la especie con mayor porcentaje de nitrógeno total (%Nt) fue caupí, indicando que por cada tonelada de materia seca hay un aporte 3.61 kg de nitrógeno. La especie con menor porcentaje de nitrógeno total (%Nt) fue canavalia, las especies frijol común y mungo presentaron porcentaje de nitrógeno total (%Nt) intermedios respecto a las demás especies. La figura 6 describe los resultados de porcentaje de nitrógeno total (%Nt) de cada especie evaluada.

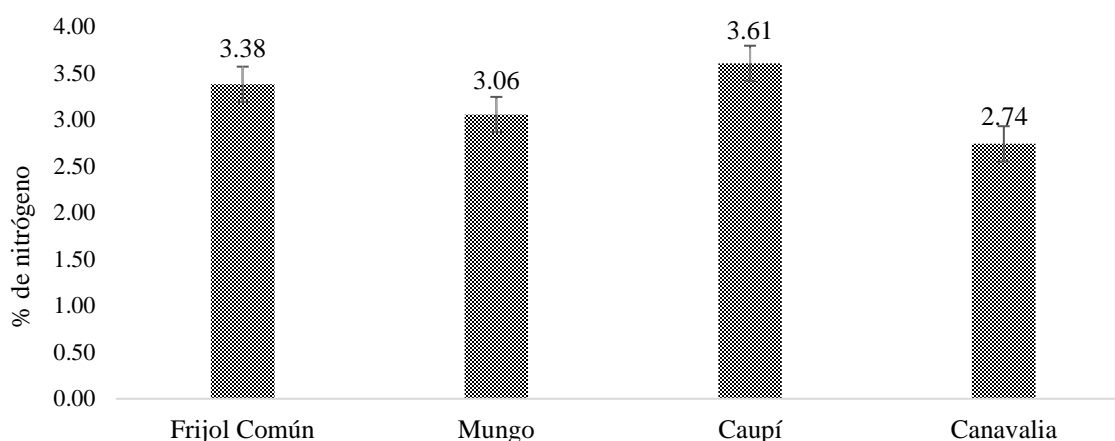


Figura 6. Porcentaje de nitrógeno total (%Nt) en cada especie de leguminosas a los 30 días después de la siembra (30 dds).

La mayoría de los agricultores nicaragüenses producen bajo sistemas tradicionales, emigran a otras áreas de producción para alcanzar mayores rendimientos en sus cultivos, lo que ocasiona problemas de diversa índole. Ante la necesidad de producir alimentos sanos y lograr un equilibrio biológico en el suelo, sin la degradación del mismo y garantizar mayor producción de los cultivos, sin uso de fertilizantes sintéticos, se han expuesto varias alternativas. Algunas de las propuestas apuntan hacia el diseño de modelos de producción basados en un enfoque más ligado al medio ambiente. Dos de las alternativas disponibles son: los sistemas agroforestales y la utilización de leguminosas que puede aportar cada especie de leguminosa (CATIE, 1991).

A los 90 días después de la siembra (dds) la especie con mayor porcentaje de nitrógeno total (%Nt) fue canavalia y la especie con menor porcentaje de nitrógeno total (%Nt) fue caupí. La figura 7 muestra los resultados de %Nt de cada especie evaluada a los 90 dds.

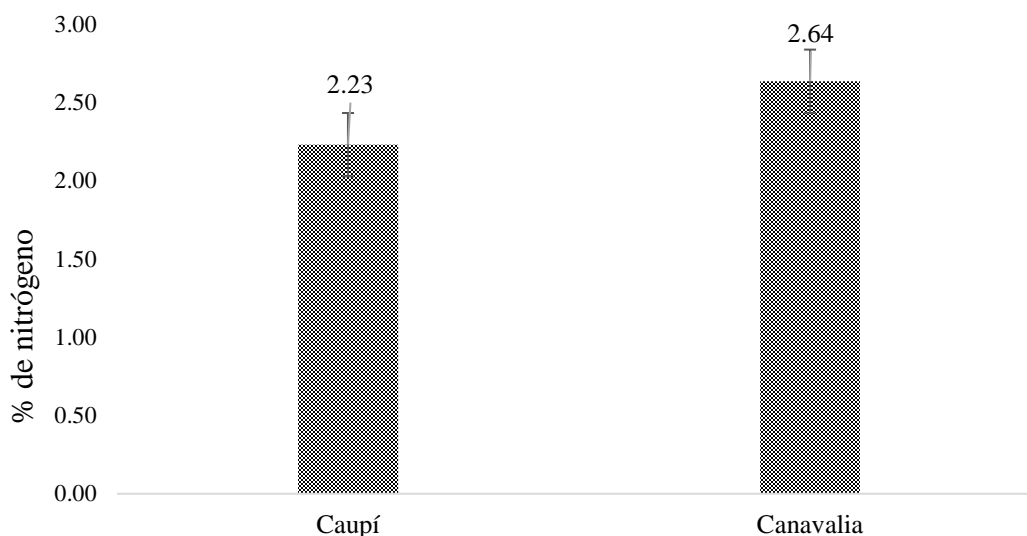


Figura 7. Porcentaje de nitrógeno total (%Nt) en cada especie de leguminosas a los 90 días después de la siembra (90 dds).

Al dejar establecido por más tiempo (90 días) las especies canavalia y caupí se obtuvo entre 4 - 38% menos concentración de nitrógeno total, lo cual implica una reducción en  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrógeno. Este fenómeno de reducción del porcentaje de nitrógeno total se explica por el efecto de dilución, a medida se va desarrollando vegetativamente la planta y se aproxima a la etapa de floración, la concentración disminuye debido al aumento de volumen (biomasa), teniendo una importancia directa en la decisión de uso de abono verde en el tiempo.

#### 4.3.1 Correlación entre número de nódulos y porcentaje de nitrógeno total

La especie mungo cosechada a los 30 días después de la siembra, produjo una mayor cantidad de nódulos que las demás especies evaluadas, pero no necesariamente tendrá mayor porcentaje de nitrógeno total, por tanto, no existe una correlación entre el número de nódulos y el porcentaje de nitrógeno total. La figura 8 indica la tendencia entre el número de nódulos y porcentaje de nitrógeno total de cada leguminosa con un 96.8 % de confiabilidad.



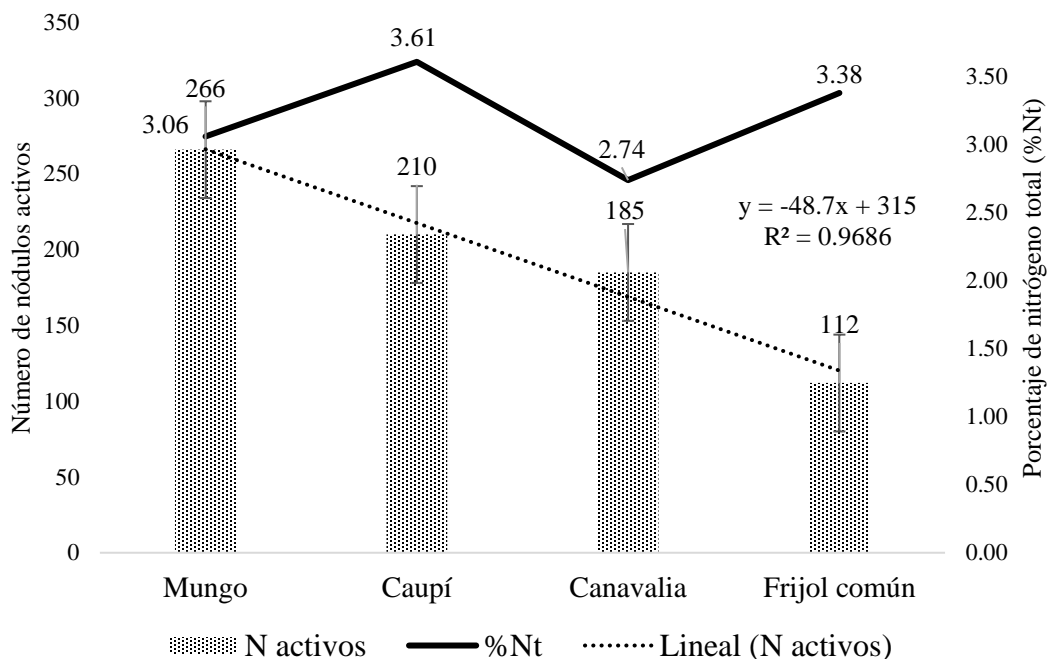


Figura 8. Tendencia entre la cantidad nódulos activos y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 30 días después de la siembra.

La relación número de nódulos activos y porcentaje de nitrógeno total demuestra que al comparar especies leguminosas entre sí, la cantidad de nódulos no siempre es un factor determinante en el porcentaje de nitrógeno fijado por la planta. Se puede considerar otros factores que podrían incidir en el porcentaje de nitrógeno total, como el caso de grosor, peso y tamaño de nódulos.

Al cosechar las especies canavalia y caupí a los 90 días después de la siembra existe una correlación ( $R^2=1$ ) entre el número de nódulos y el porcentaje de nitrógeno total, reflejando una tendencia; a mayor número de nódulos mayor porcentaje de nitrógeno en la planta. La figura 9 describe la correlación entre el número de nódulos y porcentaje de nitrógeno total de cada especie leguminosa evaluada.

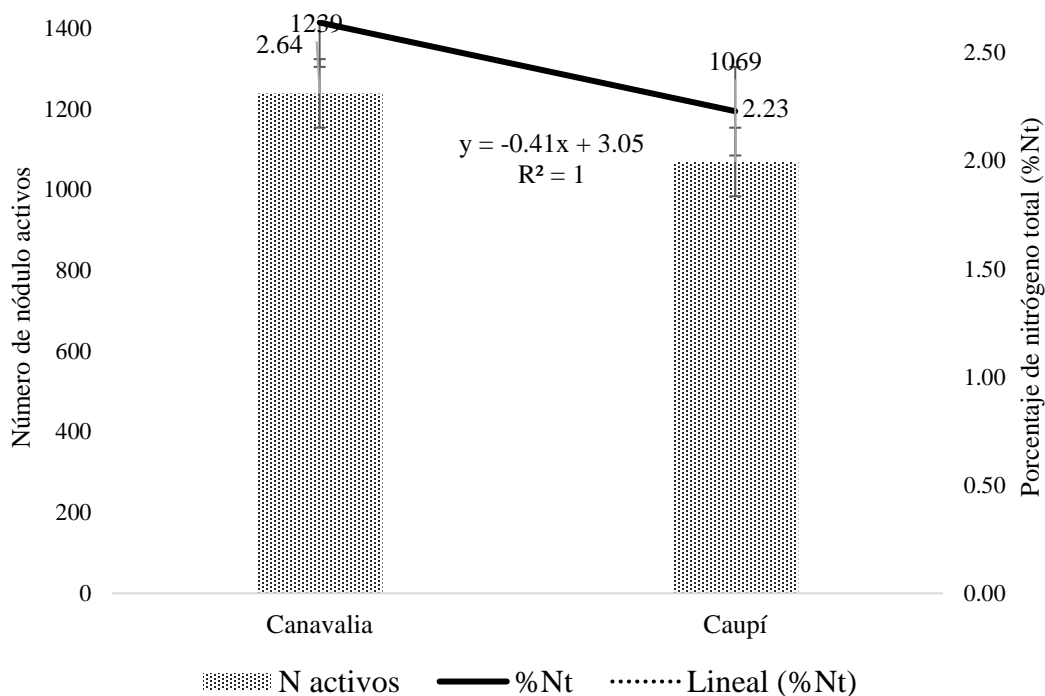


Figura 9. Correlación de nódulos activos y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 90 días después de la siembra.

La relación número de nódulos activos y porcentaje de nitrógeno total demuestra que al comparar estas especies de leguminosas; canavalia presentó 1239 nódulos en cambio caupí presentó 1069 nódulos. Ambas especies fisiológicamente tienen características similares en cuanto al ciclo de vida, pero canavalia tiende a producir mayor cantidad de nódulos, lo cual representa mayores colonias de bacterias fijadoras de nitrógeno. Cabe destacar que bajo estas condiciones el peso y tamaño de los nódulos fueron mayor en canavalia. Ver anexo 14 y 16.

#### 4.3.2 Correlación entre peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total

A cosechar las especies de leguminosas a los 30 días después de la siembra, canavalia tiende a obtener mayor producción de biomasa que caupí, mungo y frijol, pero no necesariamente tendrá mayor porcentaje de nitrógeno total, por tanto, no existe una correlación entre el peso de biomasa seca y el porcentaje de nitrógeno total. La figura 10 describe la tendencia entre peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total de cada especie leguminosa evaluada con un 80.5 % de confiabilidad.

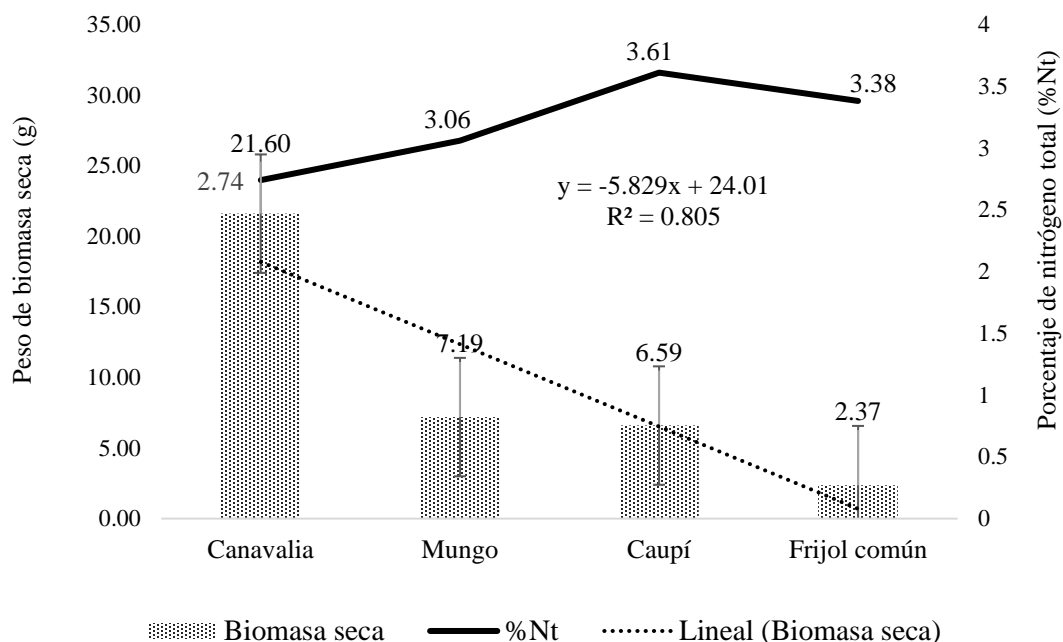


Figura 10. Tendencia de peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 30 días después de la siembra.

No se puede realizar una comparación de producción de biomasa entre leguminosas, ya que, la especie canavalia debido a sus características morfológicas y fisiológicas siempre tendrá una mayor producción de biomasa que el resto de las especie evaluadas. El objetivo de representar esta relación es para determinar el volumen de biomasa con la mejor concentración en porcentaje de nitrógeno total para poder determinar la especie con mejores resultados para la finalidad de abono verde.

Las especies leguminosas cosechadas a los 90 días después de la siembra (dds) presentan una correlación ( $R^2=1$ ) entre el peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total, mostrando una tendencia; a mayor peso de biomasa seca mayor porcentaje de nitrógeno total. Bajo las condiciones del estudio canavalia presenta mayor resultados respecto a caupí. La figura 11 describe la correlación entre el peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total de cada especie leguminosa evaluada.

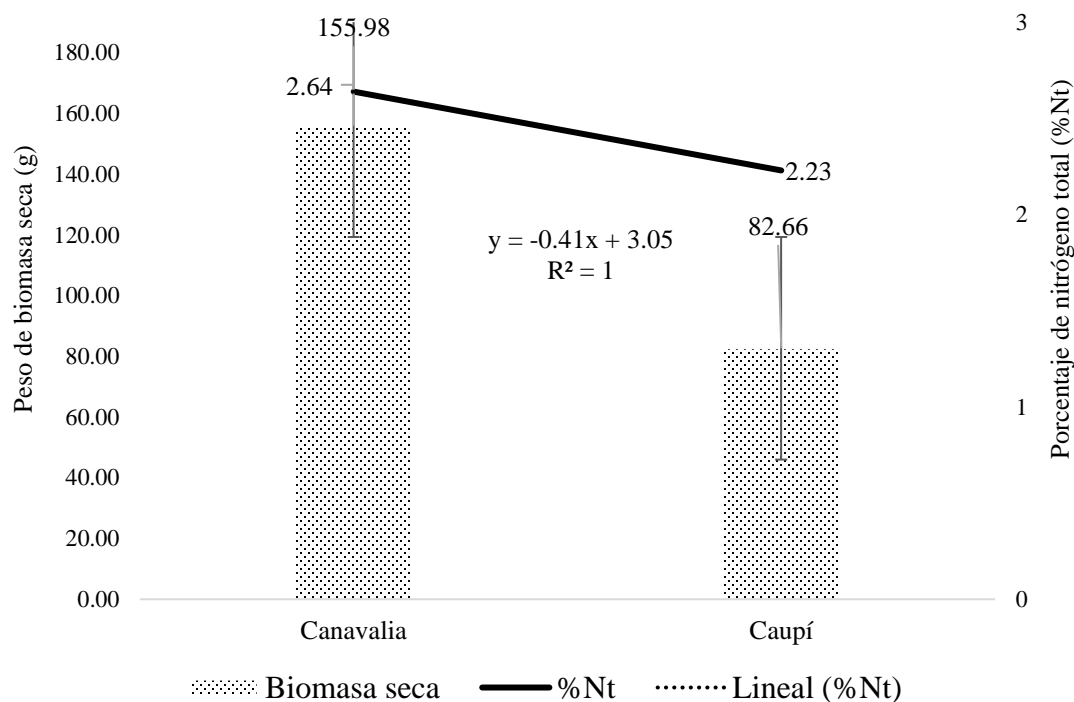


Figura 11. Correlación de peso de biomasa seca y porcentaje de nitrógeno total en especies leguminosas a los 90 días después de la siembra.

Al dejar más tiempo establecido las especies canavalia y caupí (90 dds), realizando el corte en la etapa previa a la floración, se observa que hay una disminución entre 4 y 38 % del porcentaje de nitrógeno total en comparación a los datos obtenidos a los 30 días después de la siembra. Esta reducción del porcentaje de nitrógeno se explica por el efecto de dilución en las plantas leguminosas; a medida la planta aumenta su volumen (biomasa) la concentración de nitrógeno se irá reduciendo.

#### 4.4 Porcentaje isotópico de nitrógeno (%<sup>15</sup>N)

El porcentaje isotópico de nitrógeno <sup>15</sup>N es una técnica de dilución para cuantificar la contribución de fijación biológica de nitrógeno (FBN) en la nutrición nitrogenada en especies leguminosas. Esta técnica se basa en la diferencia de átomos de <sup>15</sup>N del nitrógeno disponible del suelo para las plantas y el nitrógeno atmosférico, reflejando la abundancia de nitrógeno derivado del aire en las planta (OIEA, 1990).

La especie con mayor porcentaje isotópico de nitrógeno ( $\%^{15}\text{N}$ ) a los 30 días después de la siembra fue frijol común, la especie con menor  $\%^{15}\text{N}$  fue canavalia, mientras que las especies mungo y caupí presentaron  $\%^{15}\text{N}$  intermedios respecto a las demás especies. La figura 8 describe los resultados de  $\%^{15}\text{N}$  de cada especie evaluada.

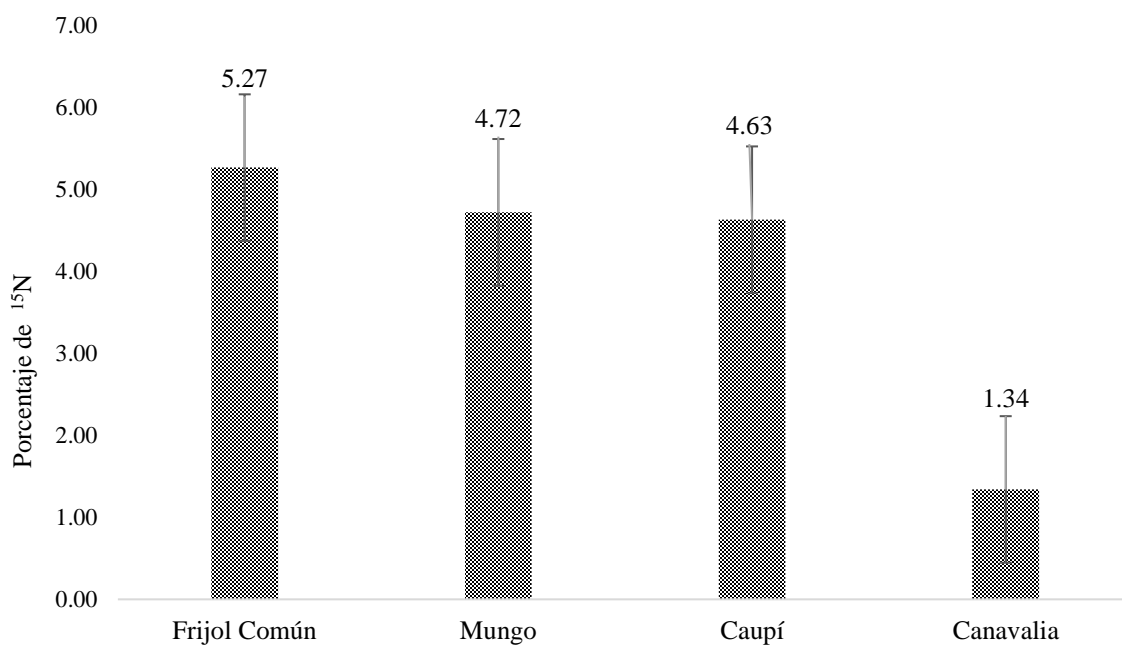


Figura 12. Porcentaje isotópico nitrógeno en cada especie de leguminosas a los 30 días después de la siembra (30 dds).

La especie canavalia obtuvo un mayor porcentaje isotópico de nitrógeno ( $\%^{15}\text{N}$ ) respecto a caupí al cosecharlas a los 90 días después de siembra. La figura 9 describe los resultados de  $\%^{15}\text{N}$  de cada especie evaluada a los 90 dds.

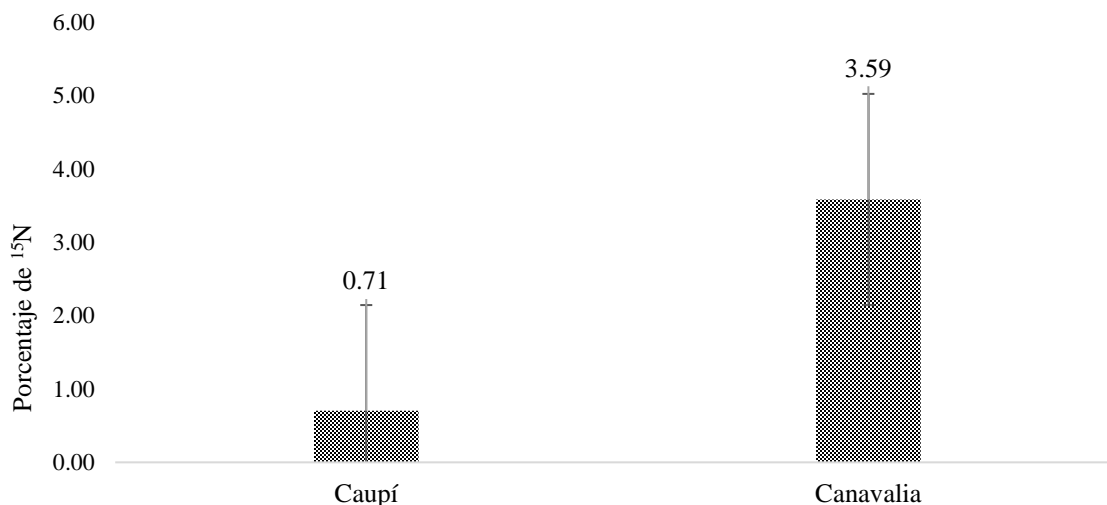


Figura 13. Porcentaje isotópico de nitrógeno de cada especie leguminosa a los 90 días después de la siembra (90 dds.).

La OIEA (1990) expresa que la composición isotópica estable ( $^{15}\text{N}$ ) se mide mediante la espectrometría de masa. Las cantidades del isótopo en una muestra se expresan en porcentaje de átomos en exceso de la abundancia natural (0.366 % de  $^{15}\text{N}$  en la atmósfera). Cuando la planta absorbe un fertilizante que se encuentra en el suelo arrojará una relación de  $^{15}\text{N}$  superior a 0.366 % dentro de la biomasa de la planta; la relación de  $^{15}\text{N}$  en la planta respecto a la abundancia natural es un reflejo del grado de absorción de fertilizante o de nitrógeno que se encuentra en el suelo. Mientras que, al disminuir porcentaje isotópico de nitrógeno que se encuentra en la planta es un indicio en la magnitud que la planta absorbió el nitrógeno atmosférico.

Los resultados obtenidos en esta investigación se afirman en lo antes mencionados por la OIEA, donde la especie de frijol común es quien presenta el mayor resultado isotópico de nitrógeno 5.27% por su característica de ser un cultivo mayormente utilizado en la producción de grano; requiriendo aplicaciones de hasta dos quintales por hectárea de completo 12-30-10 al momento de la siembra y un quintal por hectárea de urea a los 35 días después de la siembra, a pesar de pertenecer a la familia de las leguminosas (INTA 2017).

#### 4.5 Porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda)

El porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda) se obtiene a partir de la relación isotópica entre el porcentaje atómico  $^{15}\text{N}$  de la especie leguminosa y el porcentaje atómico  $^{15}\text{N}$  de la especie no fijadora. Esta relación es la que hace posible calcular la cantidad en  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrógeno atmosférico fijado por cada leguminosa, haciendo posible estimar el aporte nutricional que se realiza al suelo, así como la capacidad de suplir la demanda de un cultivo comercial en tiempo y espacio.

En el primer corte 30 días después de la siembra la especie con mayor porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda) fue canavalia, la especie con menor resultado fue frijol común, mientras que las especies mungo y caupí presentaron resultados intermedios respecto a las demás especies.

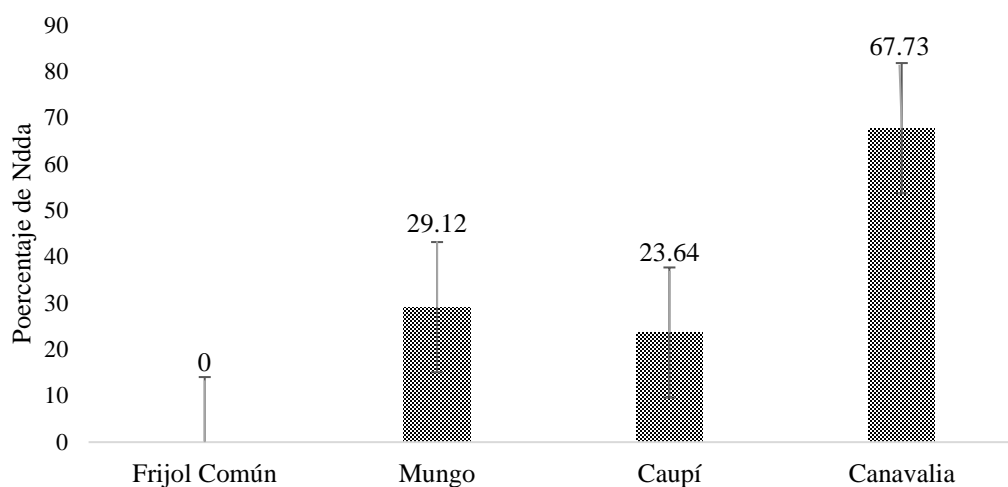


Figura 14. Porcentaje de nitrógeno derivado del aire de cada especie leguminosa a los 30 días después de la siembra (30 dds).

En el corte 90 días después de la siembra (dds), la especie caupí presentó mayor porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda) respecto a canavalia. La figura 11 describe los resultados de porcentaje de nitrógeno derivado del aire (%Ndda) de cada especie evaluada a los 90 días después de la siembra (dds).

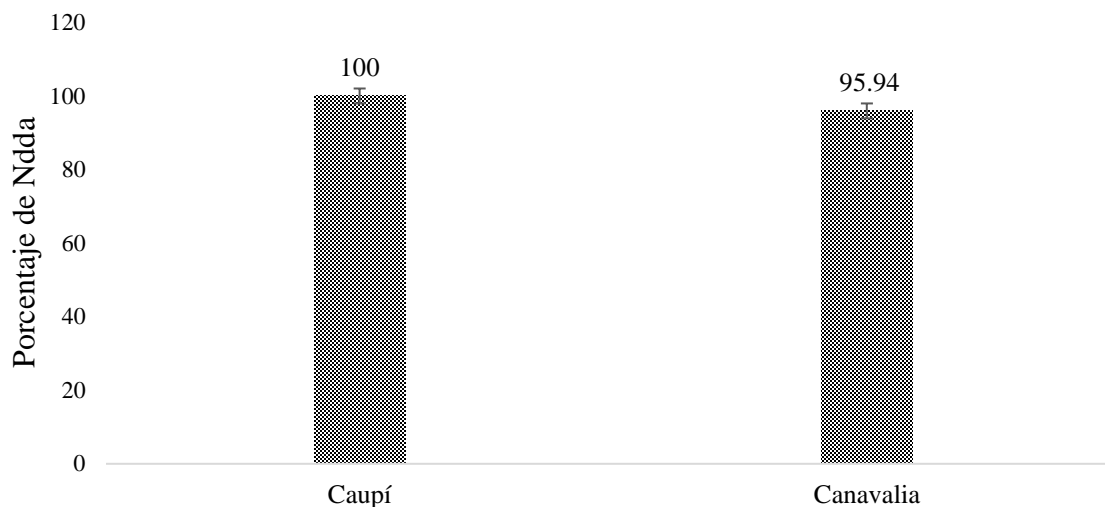


Figura 15. Porcentaje de nitrógeno derivado del aire de cada especie de leguminosas a los 90 días después de la siembra (90 dds.).

Considerando la producción nacional promedio de biomasa seca en canavalia de 13-14 t ha<sup>-1</sup> (López y Vega, 2004) y el porcentaje de nitrógeno total de 2.7%, obtenemos un aporte de 383.6 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno total, del cual el 67.73% proviene del aire lo que equivale a 259.8 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno derivado del aire.

La OIEA (1990) establece una estrecha relación entre el porcentaje isotópico de nitrógeno y el porcentaje de nitrógeno derivado del aire. En esta investigación se cumple dicha relación; determinando a los 30 dds que la especie frijol común no presenta ningún porcentaje de fijación de nitrógeno derivado del aire, mientras que caupí y canavalia presentan el mayor porcentaje de fijación de nitrógeno derivado del aire: 23.6 y 67.3% a los 30 días después de la siembra, 95.9 y 100% a los 90 días después de la siembra respectivamente.

Debido a lo novedoso de la investigación no se encontró información relacionada con el tema, por tanto se considera que caupí a los 30 dds y canavalia a los 90 dds, presentan los mejores resultados de fijación biológica derivada del aire por sus características fisiológicas y morfológicas tales como; mayor grosor y longitud de nódulos, mayor producción de biomasa y una mayor actividad biológica simbiótica con las bacterias del genero *Rhizobium*.



El cuadro 3 muestra los valores determinados de nitrógeno total por hectárea, así como los kg de nitrógeno derivado del aire que aporta cada especie de leguminosa en una hectárea a partir del %Nt.

Cuadro 2. Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en  $\text{kg ha}^{-1}$  a partir del porcentaje de nitrógeno total presente en cada especie de leguminosa a los 30 y 90 días de la siembra

	Frijol común	Mungo	Caupí	Canavalia
Porcentaje de nitrógeno total a los 30 dds	3.4	3.1	3.6	2.7
$\text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno a los 30 dds	4.2	318.2	498.2	383.6
$\text{kg de Ndda ha}^{-1}$ a los 30 dds	0	92.7	117.8	259.8
Porcentaje de nitrógeno total a los 90 dds	-	-	2.2	2.6
$\text{kg ha}^{-1}$ de nitrógeno total a los 90 dds	-	-	307.7	369.6
$\text{kg de Ndda ha}^{-1}$ a los 90 dds	-	-	307.7	354.6

dds: días después de la siembra; Ndda: Nitrógeno derivado del aire.

La fijación biológica de nitrógeno depende en gran parte del contenido de materia seca que produce cada especie, en el caso de Caupí y Mungo:  $13.8$  y  $10.4 \text{ t ha}^{-1}$  (Mendieta, 1999), Canavalia:  $14 \text{ t ha}^{-1}$  (López y Vega, 2004) y Frijol Común:  $1 \text{ t ha}^{-1}$ . Si tomamos en cuenta los datos de biomasa seca antes descritos y los resultados del %Nt así como el %Ndda en cada especie, se puede cuantificar en  $\text{kg ha}^{-1}$  el aporte de nitrógeno total y nitrógeno derivado del aire de cada leguminosa.

Bajo estas condiciones se obtuvieron los siguientes resultados de nitrógeno total a los 30 dds:  $4.2$ ,  $318.2$ ,  $498.2$  y  $386.6 \text{ kg ha}^{-1}$  para frijol común, mungo, caupí y canavalia, respectivamente, mientras que a los 90 dds se obtuvieron resultados de:  $307.7$  para caupí y  $369.6$  para canavalia. De estos resultados de nitrógeno total se cuantifico la cantidad de nitrógeno derivado del aire (Ndda) a los 30, donde se obtuvieron los siguientes resultados: frijol común  $0.0$  ( $0\%$ ), mungo  $92.7$  ( $29.1\%$ ), caupí  $117.8$  ( $23.64\%$ ) y canavalia  $259.8$  ( $67.73\%$ )  $\text{kg ha}^{-1}$ , mientras que a los 90 dds los resultados fueron: caupí  $307.7$  ( $100\%$ ) y canavalia  $364.6$  ( $95.9\%$ )  $\text{kg ha}^{-1}$  de Ndda.

Según Fernández *et al.*, (2002), de la fijación de nitrógeno total; la fijación biológica de nitrógeno (FBN) aporta la mayor parte del nitrógeno fijado a los ecosistemas terrestres. La

fijación de nitrógeno total se estima en unos 275 millones de toneladas de nitrógeno por año. De esta cantidad; 30 millones de toneladas se fijan por descargas eléctricas, 70 millones de toneladas se fijan de forma industrial y 175 millones de toneladas se fijan mediante fijación biológica, de los cuales 140 millones de toneladas pertenece fijación simbiótica.

## V. CONCLUSIONES

Caupí registró mayor cantidad de nitrógeno total con 3.61 % Nt fijado a los 30 dds, y a los 90 dds canavalia registró mayor cantidad con 2.64%Nt.

Frijol común (5.27) y mungo (4.72) presentan resultados superiores de porcentaje isotópico de nitrógeno respecto a las demás especies de leguminosa a los 30 dds. Mientras canavalia (3.59) obtuvo mayor porcentaje isotópico de nitrógeno respecto a caupí a los 90 dds.

Canavalia obtuvo la mayor fijación de nitrógeno derivado del aire con 67.73% respecto a las demás especies leguminosas. A los 90 dds la especie caupí obtuvo el mejor resultado con un 100% de Ndda.

Caupi presentó resultados de 498.2 kg ha<sup>-1</sup> a los 30 dds seguido de canavalia que logró fijar 383.6 kg ha<sup>-1</sup>, a los 90 dds caupi fijo 307.7 kg ha<sup>-1</sup>. Canavalia 369.6 kg ha<sup>-1</sup>.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Utilizar en cultivos de ciclo corto como abono verde caupí y mungo por su mayor capacidad de fijación biológica de nitrógeno a los 30 dds.

Para cultivos de ciclo largo utilizar canavalia por presentar mayor resultado de fijación biológica de nitrógeno.

Realizar la investigación en campo para obtener datos de FBN bajo condiciones de producción.

Realizar estudios con otras especies de leguminosas de Nicaragua usadas como abono verde.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acuña, C. y Lara, C. 2001. Evaluación del comportamiento de dos cultivares clónales de Quequisque (*Xanthosoma sagittifolium*. L), en condiciones del REGEN UNA, Managua, Nicaragua, primera 2000 – 2001. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. UNA. 35 p.
- Alonso, M.; Gloria; Rivera, R.; Pérez, A. 2013. Efecto de Canavalia, inoculación micorrizica y dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo del maíz. (En línea). Consultado el 24 sept. 2016. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000400010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400010)
- Binder, U. 1997. Manual de Leguminosas en Nicaragua, tomo I. PASOLAC, E.A.G.E. Estelí, NI, 528p.
- Binder, U. 1999. Manual de Leguminosas en Nicaragua, tomo II. PASOLAC, E.A.G.E. Estelí, Nic, 628p.
- Bucardo H, E., y Aragón M. 1999. Evaluación de diferentes fechas de incorporación del frijol Mungo (*Vignas radiata*) en asocio con maíz. Trabajo de Tesis, Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 51p.
- Burkles, D., B. Trionphe and G. Sain. 1999. Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with Mucuna, International Development Center Ottawa, Agriculture and Environment for Developing Regions, 4(9): 227.
- Cansío, T. F. Peña y J. L. Peña. 1988. Efecto de la incorporación de abonos verdes en áreas tabacalera. Información Express Suelos y Agroquímica. 12(3): 11-13.
- FAO (organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación). 1985. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno, Roma, Italia. pág. 107.
- Fernández, M; de María, N; de Felipe, M. 2002. Fijación biológica de nitrógeno. Factores limitantes. Ciencia y medio ambiente. CCMA-CSIC. SF. SL. Pág. 95-201.
- Frye, A.1999. Efecto de la fertilización en dos abonos verdes y su incidencia en los suelos y los rendimientos del cultivo siguiente. Comité central de investigación año 2, N<sup>o</sup>7. Universidad de Tolima, México.
- García, L. 2006. Uso de abonos verdes en cultivos agrícolas. Ed. F. Alemán. Managua, Nic, Universidad Nacional Agraria. 19 p. (Guía técnica 10).
- Guarachi, M; Rojas, T; Joaquín, A. 2006. Producción de biomasa y contenido nutritivo de tres leguminosas durante la época seca. Facultad de ciencias veterinarias. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Pag. 43. Santa Cruz, Bol. Consultado el 18 octubre de 2017. Disponible en:

[http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc\\_tesis/TESIS%20GUARACHI%2014%2012%202006-20101103-163349.pdf](http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_tesis/TESIS%20GUARACHI%2014%2012%202006-20101103-163349.pdf)

Hardarson, G. and S.K.A. Danso. 1990. Use of  $^{15}\text{N}$  methodology to assess biological nitrogen fixation. p. 129-160. *In* G. Hardarson (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships. Training Course Series N°2. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

INTA (Instituto Nicaragüense de tecnología Agropecuaria). SF. NB-6 variedad mejorada de maíz. (en línea). Consultado el 18 ene de 2017. Disponible en [http://www.funica.org.ni/docs/gran\\_basic\\_28.pdf](http://www.funica.org.ni/docs/gran_basic_28.pdf)

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), 2009, Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua. 23 p.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (INETER). 2012. Dirección de meteorología. Resume de temperatura, humedad relativa, viento evaporación y precipitación diaria. Managua.

López, A.; Vega, I. 2004. Cultivos de Cobertura para Sistemas de Cultivos Perennes. ed. F, alemán. Managua, Nic, Universidad Nacional Agraria. 16 p.

López, s; Munguía, j. 2013. Catálogo de Cultivares de Granos Básicos. Registrados y autorizados para la producción y comercialización. 56 p. (En línea). Consultado el 18 enero de 2017. Disponible en <http://intapapssan.info/wp-content/uploads/2013/11/Cat%C3%A1logodeCultivaresPapssan2013.pdf>

Mendieta L, M. A.1999. Monitoreo del proceso de mineralización de tres especies de leguminosas (vigna radiata, Vigna unguiculata y mucura sp) usadas como abono verde en el Municipio de San Dionisio, Matagalpa. Trabajo de tesis, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 68 p.

Mengel, K; Kirkby, E. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute Basel. Vol. 4. Pág. 692. Basel, Sw.

Michaelis, O; Vanegas, A. 1986. Las leguminosas forrajeras de Nicaragua. Managua, NI. 218 p.

Ministerio de economía familiar comunitaria, cooperativa y asociativa. (MEFCCA). 2015. Ficha Técnica del Cultivo de Sorgo. (En línea). Consultado el 19 enero de 2017. Disponible en <http://cdoc.economiafamiliar.gob.ni/2015/06/24/ficha-tecnica-del-cultivo-de-sorgo/>

Munguía, R; López, A; Ordoñez, M. 1996. Estudio del efecto de leguminosas, Acido giberelico (AG3), y tratamientos de desinfección en el cultivo de la pitahaya. Managua, NI. 7 p.

Organismo Internacional de Energía Atómica. 1990. Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo – planta. Colección de recursos de capacitación. Vol. 2. Pág. 311. Viena, Au

- Paredes, M. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica de Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Peña, F., M. Riverol, Consuelo Hernández, C. A. Alfonso, J. M. Llanes. 1999. Manejo del abono verde en las rotaciones anuales sobre suelos altamente susceptibles, al proceso de erosión en Cuba. En: Primer Congreso de Conservación. Manejo y Gestión de suelos en cuencas. Hidrográficas, 61 pp., Palacio de las Convenciones. Habana, Cuba.
- Pichardo Aguilera, M; Varela Ruiz, P. 1998. Evaluación de la influencia de cuatro niveles de fertilización completa (12-30-10) en la producción de semillas de *Canavalia ensiformis* L.
- RAMAC (Rappaccioli McGregor). 2013. Vertimeq, 1.8 EC. Catálogo de insecticida. SE. SP. Managua, Nic. Consultado el 18 marzo de 2017. Disponible en: [http://www.ramac.com.ni/?page\\_id=375](http://www.ramac.com.ni/?page_id=375)
- Rodriguez, C; Sevillano, F; Subramanian, P. 1984. Fijación de nitrógeno atmosférico. Biotecnología en la producción agraria. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. 1er edi. Esp. 67 p. (En línea). Consultado 19 marzo de 2016. Disponible en [http://www.ceresnet.com/ceresnet/esp/servicios/teleformacion/agroambiente/nitrogeno\\_atmosferico.pdf](http://www.ceresnet.com/ceresnet/esp/servicios/teleformacion/agroambiente/nitrogeno_atmosferico.pdf)
- Roig, C. 2004. Producción y Manejo de Pasturas Cultivadas Mega Térmicas. BRACHIARIA BRIZANTHA CV MARANDU. (En línea). Consultado el 18 enero de 2017. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_megatermicas/35-brachiaria\\_brizantha\\_cv\\_marandu.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/35-brachiaria_brizantha_cv_marandu.pdf)
- Salmerón, F; García, L. 1994. Fertilidad y fertilización del suelo. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nic. 141 pag.
- Sistema de información y comunicación del sector agropecuario. (InfoAgro). Sf. El cultivo del maíz (1ª parte). 2 p. (En línea). Consultado el 19 enero de 2017. Disponible en <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>

## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Describe los tratamientos y su clasificación en base a su momento de cosecha.

Tratamiento	Utilidad	Momento de cosecha días después de la siembra (dds)
Mungo	Fijador de nitrógeno	30
Frijol común	Fijador de nitrógeno	30
Canavalia	Fijador de nitrógeno	30 y 90
Caupí	Fijador de nitrógeno	30 y 90
Sorgo	Testigo	60
Maíz	Testigo	30 y 60
Brachiaria	Testigo	30 y 60

Anexo 2. Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie mungo cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa	Peso Raíces	Peso Nódulos	nódulos activos	nódulos totales
M1	4	26.14	1.78	0.84	89	98
M2	4	18.50	2.45	0.66	46	49
M3	4	23.87	1.79	1.32	80	80
M4	4	17.94	2.75	1.02	51	51

Anexo 3. Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie mungo cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa seca	Peso Raíces secas	Peso Nódulos secos
M1	4	6.82	0.97	0.21
M2	4	4.67	0.66	0.13
M3	4	6.92	0.95	0.27
M4	4	5.07	0.90	0.17



Anexo 4. Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie caupí cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa	Peso Raíces	Peso Nódulos	Nódulos activos	Nódulos totales
M1	3	25.34	3.60	0.46	23	23
M2	2	22.33	2.66	0.35	23	24
M3	4	43.91	6.31	2.26	96	96
M4	4	48.95	7.94	1.39	68	70

Anexo 5. Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie caupí cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa seca	Peso Raíces secas	Peso Nódulos secos
M1	3	4.06	0.48	0.08
M2	2	3.13	0.52	0.07
M3	4	6.83	1.15	0.4
M4	4	6.35	1.08	0.2

Anexo 6. Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa	Peso Raíces	Peso Nódulos	Nódulos activos	Nódulos totales
M1	5	54.68	11.70	1.39	56	60
M2	4	57.70	6.70	2.41	30	30
M3	5	57.33	8.50	2.50	42	42
M4	4	75.22	9.14	3.89	57	57

Anexo 7. Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa seca	Peso Raíces secas	Peso Nódulos secos
M1	5	20.13	2.67	0.29
M2	4	15.4	2.87	0.46
M3	5	19.9	3.29	0.50
M4	4	17.4	2.83	0.63

Anexo 8. Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie frijol común cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa	Peso Raíces	Peso Nódulos	Nódulos activos	Nódulos totales
M1	5	14.28	6.77	0.38	18	18
M2	5	11.80	4.47	0.17	32	32
M3	5	12.05	7.22	0.47	40	40
M4	5	6.61	6.61	0.48	22	22

Anexo 9. Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie frijol común cosechada a los 30 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa seca	Peso Raíces secas	Peso Nódulos secos
M1	5	2.3	0.4	0.0081
M2	5	1.7	0.3	0.0278
M3	5	2.3	0.5	0.0232
M4	5	1.5	0.4	0.0089

Anexo 10. Peso (g) fresco y seco de biomasa (raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie de sorgo cosechado a los 60 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Biomasa fresca	Biomasa seca	Raíces frescas	Raíces secas
M1	6	649	165.3	139	37.9
M2	7	635	172.2	153	45
M3	3	649	165.7	117	35.2
M4	7	707	186.1	68	22.2

Anexo 11. Peso (g) fresco y seco de biomasa (raíces y biomasa aérea) y de cada repetición en especie maíz cosechada a los 60 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Biomasa fresca	Biomasa seca	Raíces frescas	Raíces secas
M1	4	235.3	38.2	98.0	11.6
M2	4	355.5	49.7	90.0	11.4
M3	4	294.3	44.9	77.1	8.9
M4	4	330.4	62.3	123.6	18.3

Anexo 12. Peso (g) fresco y seco de biomasa (raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie brachiaria cosechada a los 60 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Biomasa fresca	Biomasa seca	Raíces frescas	Raíces secas
M1	6	28.1	5.00	8.84	1.1
M2	6	26.9	4.6	5.82	0.8
M3	7	17.6	3.2	3.40	0.4
M4	7	32.8	6.3	12.5	1.4

Anexo 13. Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie caupí cosechada a los 90 días después de la siembra

Precipitaciones	Plantas/maceta	Peso Biomasa	Peso Raíces	Peso Nódulos	Nódulos activos	Nódulos totales
M1	3	463.2	28.1	12.4	167	172
M2	3	502.0	37.0	15.2	279	285
M3	3	410.3	31.3	19.7	356	360
M4	3	475	33	15	235	235

Anexo 14. Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie caupí cosechada a los 90 días después de la siembra

Muestra	Plantas/maceta	Peso Biomasa seca	Peso Raíces secas	Peso Nódulos secos
M1	3	72.3	3.8	1.6
M2	3	81.3	6.2	2.0
M3	3	73.5	4.8	2.9
M4	3	75	4	2

Anexo 15. Peso (g) fresco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) y cantidad de nódulos de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 90 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa	Peso Raíces	Peso Nódulos	Nódulos activos	Nódulos totales
M1	2	532.4	24.0	24.6	186	190
M2	4	666.1	35.8	31.1	212	215
M3	4	567.2	23.5	26.2	396	412
M4	5	508.0	31.3	34.5	445	448

Anexo 16. Peso (g) seco de biomasa (nódulos, raíces y biomasa aérea) de cada repetición en especie canavalia cosechada a los 90 días después de la siembra

Repeticiones	Plantas/maceta	Peso Biomasa seca	Peso Raíces secas	Peso Nódulos secos
M1	2	139.2	6.2	4.7
M2	4	169.0	9.8	5.8
M3	4	133.9	6.6	4.2
M4	5	129.6	8.8	6.1



*"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"*